

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ НА КАМЧАТКЕ

ELECTRIC AND ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN THE NEAR GROUND AIR BEFORE EARTHQUAKES IN KAMCHATKA

Ю.М. Михайлов¹, Г.А. Михайлова¹, О.В. Капустина¹, Г.И. Дружин², С.Э. Смирнов²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Simultaneous records of diurnal variations in quasi-static electric field in the near-Earth atmosphere, fluxes of discrete electromagnetic pulses in the VLF band, source azimuths, narrowband filter output emission intensity at the frequencies of 4.65 and 5.3 kHz, and time forms and spectra of VLF pulses have been analyzed. The anomalous behavior of these parameters in October, 2002 and August, 2004 with different time delay was accompanied by earthquakes near the southeastern coast of Kamchatka at distances of 250--400 km from the registration points. Based on the results of a fine spectral-temporal analysis of the broadband records of VLF signals, it has been indicated for the first time that discrete electromagnetic pulses observed in anomalous fluxes before earthquakes were the signals of local thunderstorm processes.

Многолетние исследования аномальных эффектов в вариациях квазистатического электрического поля в приземной атмосфере показали, что они проявляются преимущественно в виде бухтообразного понижения напряженности, а в вариациях естественного электромагнитного поля в КНЧ- и ОНЧ-диапазонах – как в изменении интенсивности, так и в возрастании потоков дискретных импульсов [1, 2, 3]. Хотя природу этих эффектов связывают с изменением напряженно-деформированного состояния верхней литосферы в результате подготовки очага землетрясений, механизм аномалий этих геофизических явлений до сих пор не ясен. Очевидно только, что наблюдения этих явлений следует проводить не только непрерывно, но и комплексно. Исходя из этого уже в течение многих лет, начиная с 1991 г., в районе Паратунской гидротермальной системы (обс. Паратунка, $\varphi = 52^{\circ}58,3'N$, $\lambda = 158^{\circ}14,9'E$)

Институтом космических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО РАН ведутся регулярные целенаправленные наблюдения широкого комплекса

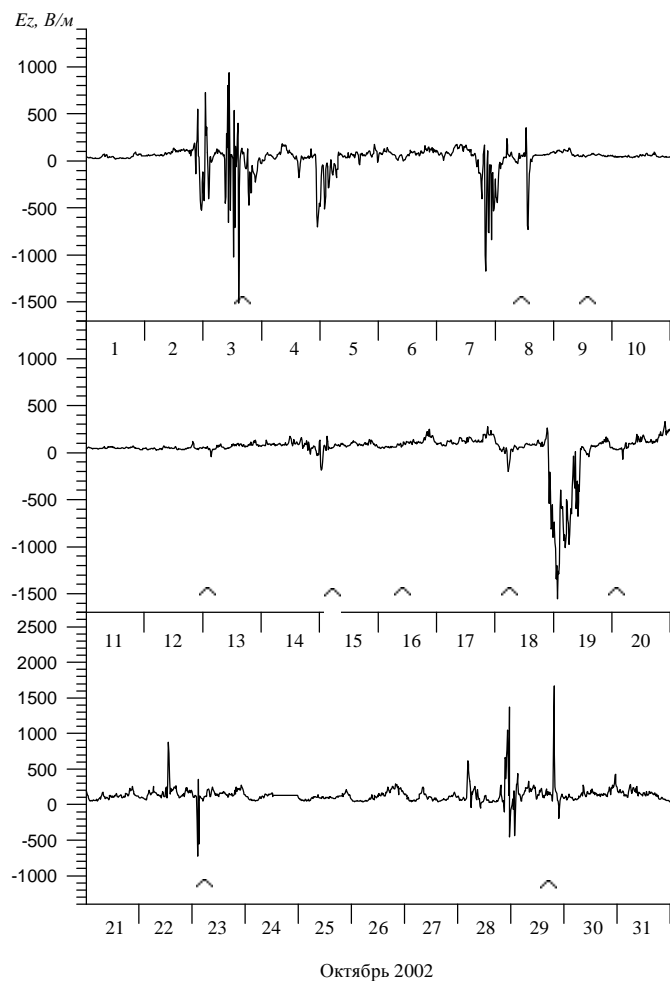


Рис.1. Суточные вариации E_z -компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере Камчатки в октябре 2002 г. Стрелками указаны моменты землетрясений.

геофизических параметров. В данной работе выполнен анализ одновременных записей суточных вариаций квазистатического электрического поля в приземной атмосфере, потока дискретных электромагнитных импульсов в ОНЧ-диапазоне, азимутов их источников, интенсивности излучений на выходе узкополосных фильтров на частотах 4,65 и 5,3 кГц, а также временных форм и амплитудных спектров ОНЧ-импульсов в октябре 2002 г. и августе 2004 г. Аномалии в поведении этих параметров с различным запаздыванием по времени сопровождалась землетрясениями на юго-восточном

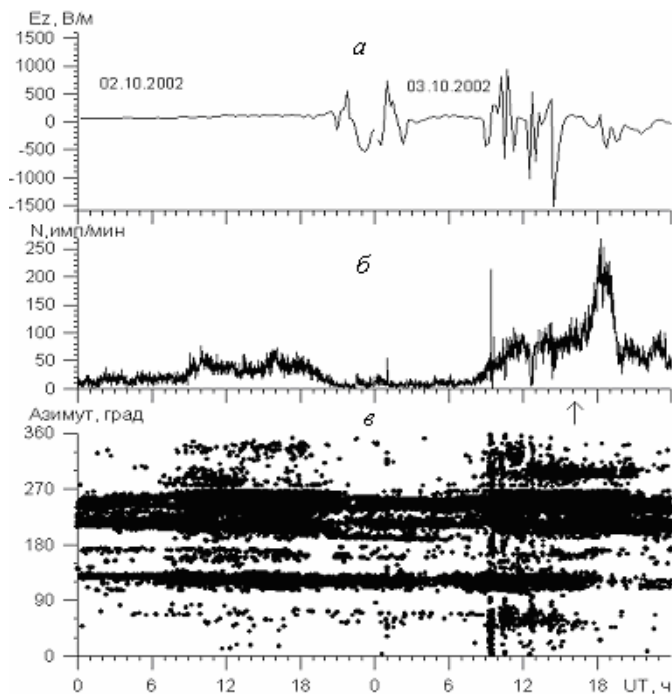


Рис.2. Суточные вариации E_z -компоненты электрического поля (а), потока дискретных электромагнитных импульсов (N имп/мин) (б), азимутов источников этих импульсов в прямоугольной системе координат 02-03 октября (в).

сигналов. Длительность этого всплеска значительно короче длительности аномалии электрического поля. На рис.2 в качестве иллюстрации приведены: суточные вариации электрического поля за 2-3 октября (а); поток импульсов N имп/мин (б) и азимуты их источников в прямоугольных координатах (в). На рис.2 в вертикальные линии в интервале времени 09-15 UT во всем диапазоне азимутов указывают на локальный («над головой») источник интенсивного потока импульсов. Стрелкой на рисунке указан момент времени ЗТ.

Последовательность суточных вариаций числа N имп/мин для всех аномальных событий в вариациях E_z -компоненты, указанных на рис.1, приведена на рис.3. Анализ этого рисунка в сравнении с рис.1 показывает, что в начальный момент понижения E_z до величины, превышающей минус 500 В/м, одновременно наблюдается интенсивный поток дискретных импульсов. Опережение по времени момента ЗТ составляет величину от одного до 25 ч. При меньшей величине скачка E_z -компоненты (5, 15, 18 октября на рис.2) усиление потока импульсных сигналов не наблюдалось. Здесь же на нижнем фрагменте рис.3 показан суточный ход N имп/мин 29-30 августа 2004 г., когда также наблюдался эффект усиления потока дискретных сигналов, но более продолжительный по времени по сравнению с явлениями в октябре 2002г. Длительность всех наблюдаемых аномалий составляет величину от 1 мин до 3 ч, что существенно короче длительности эффекта аномального усиления потоков импульсов, зарегистрированных на Камчатке в октябре 2002г. во время тропических циклонов в северо-западном регионе Тихого океана [4].

побережье п-ова Камчатка на расстояниях 250-400 км от пунктов регистраций. Наблюдаемые аномальные вариации напряженности электрического поля, как видно на рис.1, имеют характерные особенности при грозовой активности в приземной атмосфере. Одновременно с регистрацией электрического поля велись наблюдения интенсивности ОНЧ-излучения на частоте 5,3 кГц, а также определялись азимуты источников дискретных электромагнитных импульсов с помощью ОНЧ-пеленгатора. Кроме азимутов, по записям пеленгатора определялся поток дискретных сигналов в одну минуту. Оказалось, что в момент первого скачкообразного понижения величины E_z -компоненты электрического поля наблюдался интенсивный всплеск потока дискретных электромагнитных

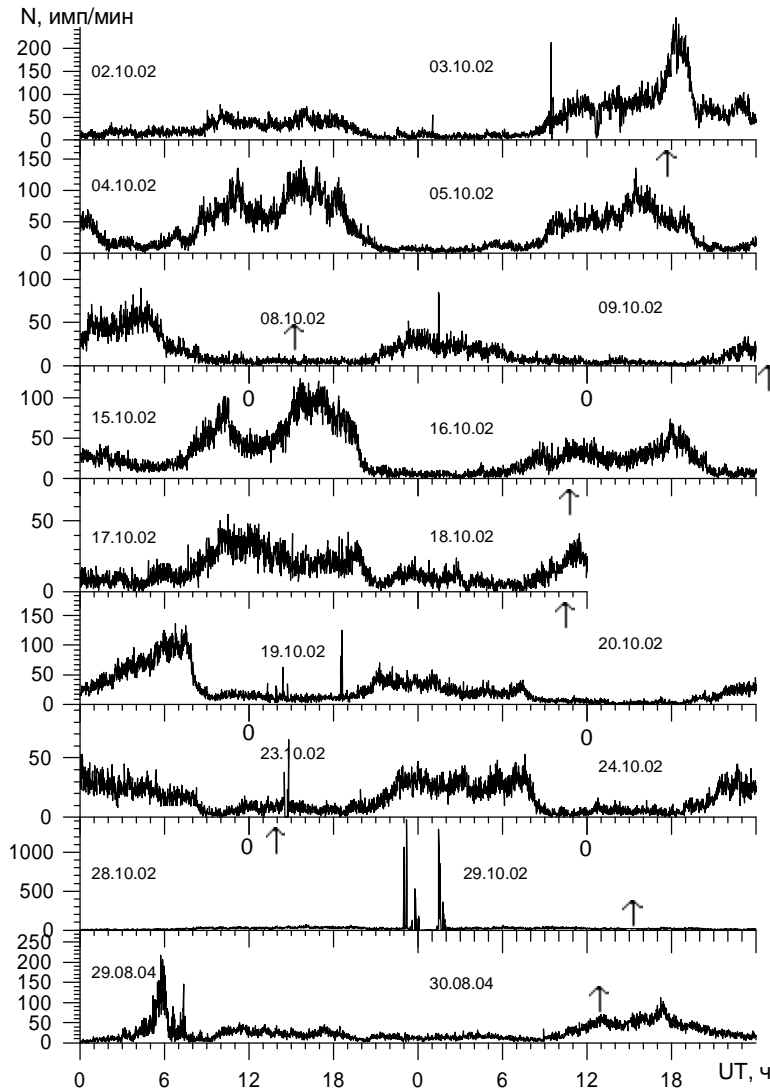


Рис.3. Суточное распределение потоков дискретных электромагнитных импульсов в окрестностях аномальных изменений электрического поля, приведенных на рис.2. Нижний фрагмент показывает суточное распределение N имп/мин 29-30 августа 2004 г.

Подобный эффект был зарегистрирован и на частоте 4,65 кГц (рис.4в). Момент максимума N совпадает с началом первого отрицательного скачка электрического поля (рис.4з) и слабым положительным скачком электропроводности (рис.4д) λ_+ с последующим ростом отрицательной электропроводности даже спустя 6-9 ч после сильных вариаций электрического поля. Длительность аномалии потока дискретных импульсов близко совпадает с длительностью первой отрицательной бухты понижения электрического поля. Вслед за этой бухтой наблюдаются значительные вариации E_z -компоненты поля, сопровождаемые сильными вариациями отрицательной электропроводности даже спустя несколько часов после сильных вариаций электрического поля.

Был выполнен тонкий спектрально-временной анализ одноминутных широкополосных записей прибора АНЧ-2МЕ с дискретностью по времени 20 мкс в разные дни августа 2004 г. (К сожалению, в октябре 2002 г. записи этого прибора отсутствовали). Метод анализа показан на рис.5 на примере аномалии N имп/мин в 06.00 UT 29 августа. На верхнем фрагменте (а) приведена спектрограмма сигналов в зависимости от времени в диапазоне частот 20-20000 Гц. Степень почернения следов пропорциональна интенсивности спектральных компонент во всем диапазоне частот. На

Для изучения временных форм и спектров дискретных импульсов, составляющих аномальные потоки, были использованы дополнительные широкополосные записи в полосе частот 20-20 000 Гц (АНЧ-2МЕ) в пос. Левая Авача на расстоянии около 100 км от obs. Паратунка, где ведется регистрация квазистатического электрического поля и электропроводностей, а также установлен ОНЧ-пеленгатор. Кроме широкополосных записей, одновременно проводились записи в узкополосных каналах на частоте 4,65 кГц в пос. Левая Авача и на частоте 5,3 кГц в obs. Карымшина на расстоянии 20 км до obs. Паратунка. На рис.4 приведены результаты этих комплексных наблюдений нескольких параметров 29 и 30 августа 2004 г. перед ЗТ 30 августа. Как видно на рис.4а, на выходе широкополосного канала увеличение потока до 50 имп/мин при фоновом уровне 20 имп/мин постепенно началось в 05 UT и достигло максимальной величины 200 имп/мин в 06 UT. Этому моменту времени на частоте 5,3 кГц (рис.4б) соответствует незначительное возрастание интенсивности.

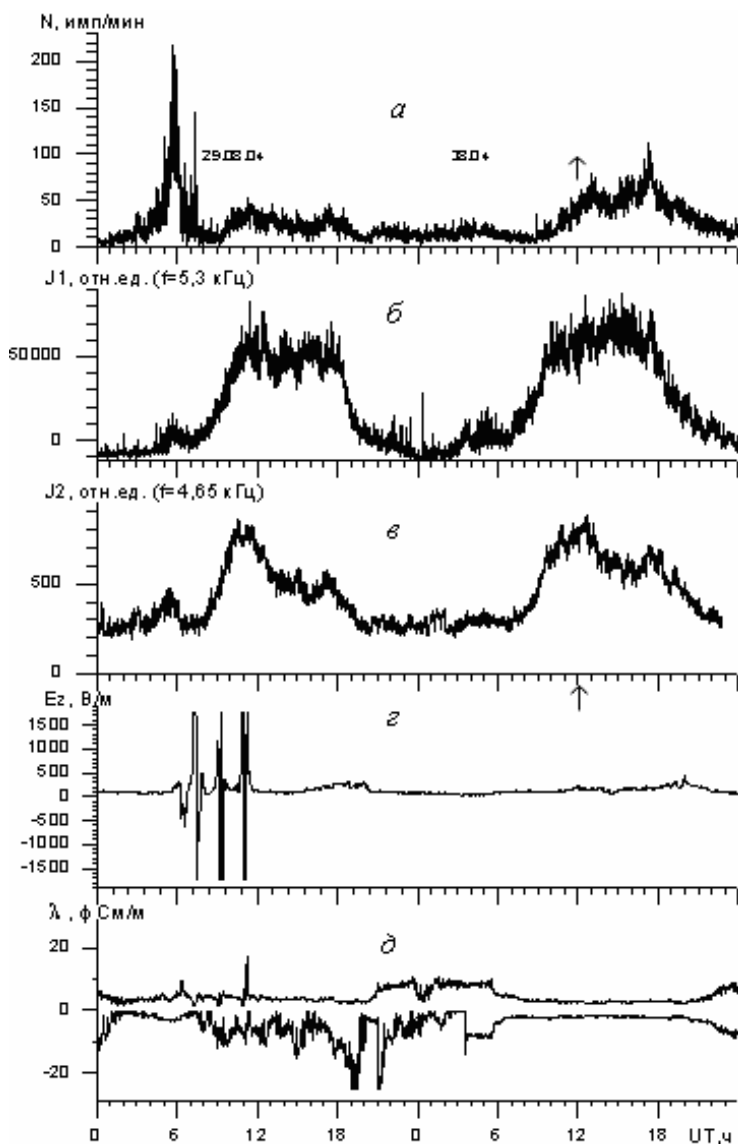


Рис.4. Суточное распределение потока дискретных электромагнитных импульсов на выходе широкополосного канала ОНЧ-пеленгатора (а), отклика фильтров на частоте 5,3 кГц в обс. Карымшина (б), на частоте 4,65 кГц в пос. Левая Авача (в), а также E_z -компоненты квазистатического электрического поля (г) и электропроводностей (λ_+ и λ_-) (д) 29 и 30 августа 2004 г.

сигналы, и по форме и по длительности аналогичные атмосферикам от источников, удаленных на расстояния порядка и более 1000 км, а их спектр (рис.6г) имеет характерный максимум для такого типа атмосфериков. Модуляция спектра на этом фрагменте вызвана наложением коротких атмосфериков. Детальный анализ индивидуальных импульсов показывает, что они включают в себя известные стадии молниевых разрядов [6]. Подобные биполярные импульсы обратных ударов молний от ближних гроз наблюдались также на расстояниях до 300 км от источника [5]).

Анализ всей совокупности данных наблюдений в октябре 2002 г. и августе 2004 г. показал следующее:

- наличие аномальных вариаций величины электрического поля, характерных для грозовой активности в приземной атмосфере;

следующем фрагменте (б) показана последовательность импульсов в интервале времени 300 мс, ниже (в) – в интервале времени 10 мс. Рис.5в показывает последовательность коротких импульсов длительностью порядка 100 – 400 мкс с наложенными более высокочастотными, но слабыми по интенсивности импульсами. На рис.5г приведен спектр Фурье временной реализации в 10 мс (рис.5в) с широким максимумом на частотах 1 – 4 кГц с практически постоянным уровнем спектральной плотности на частотах выше 6 кГц. В качестве контрольного примера рассмотрен фрагмент 22 августа 2004 г. в 02 UT, когда на спектрограмме были выделены пачки интенсивных импульсов, подобные случаю 29 августа в 06 UT. На рис.6 воспроизведена последовательность результатов обработки этого фрагмента записи. Сравнение двух рисунков показывает следующее: длительность всплеска дискретных импульсов 22 августа (рис.6б) более чем в 20 раз короче всплеска 29 августа (рис.5б); в последовательности импульсов на рис.6 в отчетливо видны импульсные

- при ослаблении величины электрического поля ниже минус 500 В/м одновременно наблюдалось усиление потоков дискретных электромагнитных импульсов. Данные ОНЧ-пеленгатора указывали на локальный источник этих импульсов;

- наличие аномальных вариаций величины электрического поля, характерных для грозовой активности в приземной атмосфере;

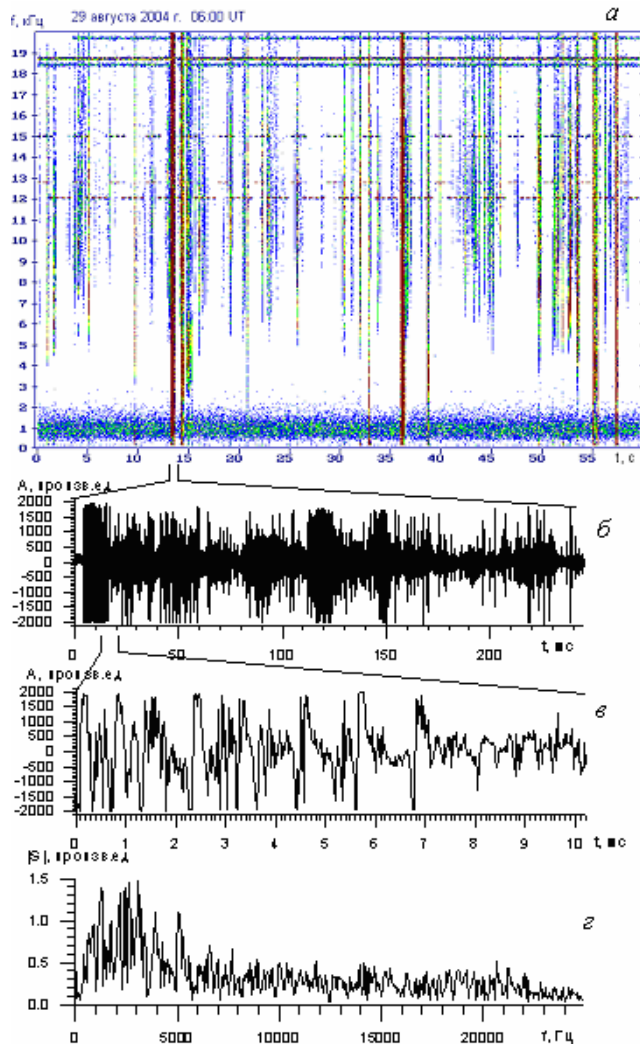


Рис.5. Спектрограмма электромагнитных излучений в полосе частот 20-20 000 Гц в максимуме потока дискретных сигналов в 06.00 UT 29 августа (а), динамика во времени выборочного фрагмента цуга в масштабах 0-300 мс (б) и 0-10 мс (в) соответственно, а также спектр Фурье фрагмента длительностью 10 мс (г).

- при ослаблении величины электрического поля ниже минус 500 В/м одновременно наблюдалось усиление потоков дискретных электромагнитных импульсов. Данные ОНЧ-пеленгатора указывали на локальный источник этих импульсов; скачкообразные изменения отрицательной и положительной электропроводностей, характерных при аномальных вариациях электрического поля;

- на выходе узкополосных каналов наблюдалось незначительное по сравнению с потоками дискретных сигналов усиление интенсивности;

- временные формы и спектры дискретных электромагнитных сигналов в аномальных потоках подобны соответствующим характеристикам сигналов вблизи молниевых разрядов.

- аномалии в поведении этих параметров с различным запаздыванием по времени сопровождалась землетрясениями у юго-восточного побережья Камчатки.

Таким образом, по результатам прямых и косвенных комплексных наблюдений различных геофизических параметров впервые показано, что в октябре 2002 г и августе 2004 г. дискретные электромагнитные импульсы в аномальных потоках перед землетрясениями являлись сигналами локальных грозовых процессов.

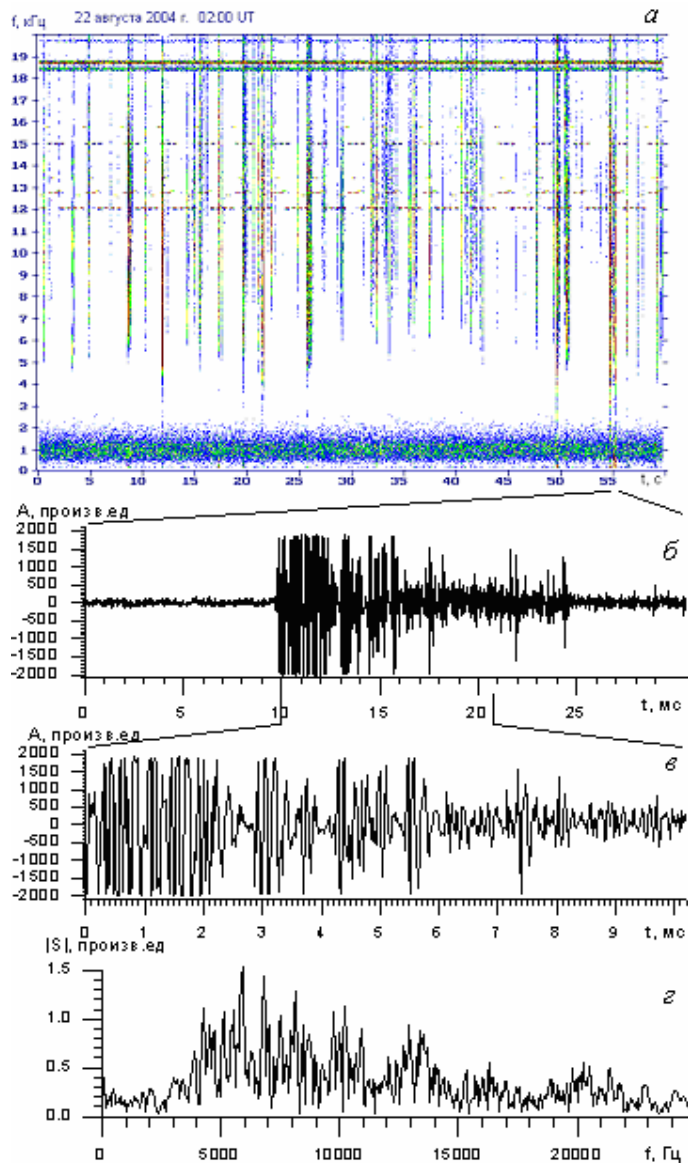


Рис.6. То же, что и на рис.5, но в 02.00 UT 22 августа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 02-05-79066 и 04-05-65100).

Список литературы

1. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмоэлектромагнитные явления. – М.: Наука, 1988.
2. Дружин Г.И. Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ-излучением // Вулканология и сейсмология. №6. С.51-52. 2002.
3. Ремизов Л.Т. Регистрация изменений естественного электромагнитного поля в периоды времени, предшествующие землетрясениям (обзор) // Радиотехника и электроника. Т.36. Вып.6. С.1041-1080. 1991.
4. Михайлов Ю. М., Дружин Г. И., Михайлова Г. А., Капустина О. В. Динамика грозовой активности во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрномия. Т.46. №6. С. 825-838. 2006.
5. Михайлова Г.А. Амплитудные и фазовые спектры близких атмосфериков в диапазоне 2 -30 кГц // Геомагнетизм и аэрномия. Т.5. №1. С.179-183. 1965.
6. Norinder H., Vollmer B. Variation forms and time sequence of multiple lightning strokes // Ark. for. Geofis. B.2. N25. P.515-531.1956.